

С. Ю. Шаманин, В. Л. Блинов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург.

shamanin0090@gmail.com, vithomukyn@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВОКРУГ ВЕТРЯНОЙ ТУРБИНЫ

В настоящей работе представлено моделирование турбулентного потока вокруг ветряной турбины. Описаны результаты моделирования течения, показана полученная характеристика мощности при разных скоростях ветра.

Ключевые слова: ветряная турбина, теория импульсов лезвийного элемента, динамика вычислительной текучей среды, аэродинамическое проектирование горизонтальной ветровой турбины, возобновляемые источники энергии.

S. Y. Shamanin, V. L. Blinov

Ural Federal University, Ekaterinburg.

MODELING OF THE FLOW AROUND A WIND TURBINE

In this paper presents a simulation of turbulent flow around a wind turbine. The results of modeling the current are described, the obtained power characteristic at different wind speeds is shown.

Key words: wind turbine, blade element momentum theory, computational fluid dynamics, aerodynamic design horizontal wind turbine, renewable energy.

На сегодняшний день запасы ископаемого топлива ограничены и его использование ведет к загрязнению окружающей среды. Все более привлекательным становится использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), к которым относятся: солнечная радиация, энергия ветра, энергия рек, приливов и океанских волн,

энергия, заключенная в биомассе и органических отходах. В настоящее время наблюдается значительный рост использования энергии ветра и других видов ВИЭ, который продолжится и в ближайшем будущем.

Исследователи во всем мире тратят большое количество ресурсов на поиск эффективного способа извлечения энергии ветра. Перспективным инструментом проведения исследования является использование методов вычислительной газовой динамики, поскольку затраты на проведение натурных экспериментов в аэродинамических трубах характеризуются сравнительно большой стоимостью. Тем не менее, обеспечение достаточной точности численного моделирования остается основной проблемой при проведении исследований.

Настоящее исследование направлено на численное моделирование течения потока воздуха, обтекающего лопасти ветроколеса при различных скоростях ветра.

Для построения геометрической модели использовались данные, представленные в [1]. На рис. 1 изображена геометрическая модель построенной лопасти ветряной турбины.

Численное исследование проводилось для области пространства длиной 270 м. Вход – окружность площадью 15000 м^2 , а выход – 60000 м^2 . Расчеты проводились для сектора $1/3$ от окружности колеса, в которой располагается одна лопасть ветротурбины. На боковых поверхностях сектора задавалось условие периодичности. Расчетная область разбивалась на неструктурированную сетку конечных элементов (рис. 1). В качестве модели турбулентности использовалась низкорейнольдсовая двухпараметрическая модель $k-\omega$ [2]. В качестве граничных условий использовались составляющие абсолютной скорости потока воздуха на входе в расчетный домен и давление на выходе из него, равное атмосферному давлению. Расчеты проводились с рабочим телом типа Air Ideal Gas при температуре $15 \text{ }^\circ\text{C}$ и плотности $1,225 \text{ кг/м}^3$.

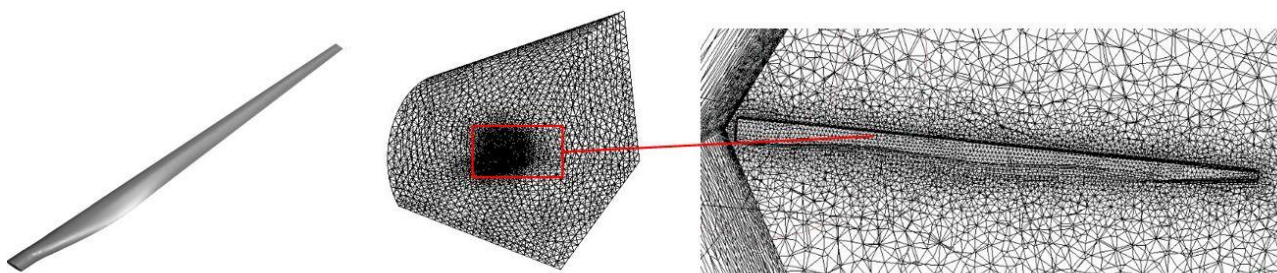


Рис. 1. Геометрическая форма лопадки ветряной турбины и неструктурированная сетка расчетной модели

Вычисление мощности и построение мощностной характеристики производилось при нормальной быстроходности ветроколеса Z равной 8. Коэффициент быстроходности (1) выражает соотношение между скоростью вращения кончика лопадки ω и скоростью движения невозмущенного потока ветра V_{wind} [3].

$$Z = \frac{\omega R}{V_{\text{wind}}} \quad (1)$$

Коэффициент мощности C_p (2) представляет собой отношение мощности, вырабатываемой турбиной, P к мощности ветра P_0 . На его величину влияют плотность потока ρ , площадь ветроколеса A и скорости ветра $V_{1(2)}$ перед и за турбиной. Теоретически максимальный коэффициент мощности равен 0,593, по-другому его называют пределом Бетса [3].

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (V_1 + V_2) (V_1^2 - V_2^2)}{\rho A V^3} \quad (2)$$

В результате численного моделирования была получена характеристика ветряной турбины (рис. 2) при разных скоростях ветра с углом установки профиля равным 4° .

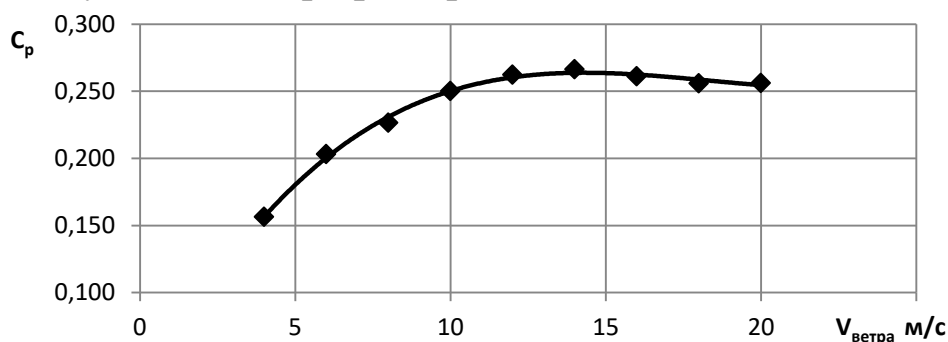


Рис. 2. Характеристика ветряной турбины

Проанализировав график изменения коэффициента мощности от скорости ветра, установлено, что максимальное значение C_p составило 0,265 при скорости ветра 12 м/с. Такой результат считается хорошим показателем для ветровых установок. Также видно, что при увеличении скорости ветра от 4 до 12 м/с растет и мощность. При дальнейшем увеличении скорости ветра мощность начинает падать, т. к. меняется угол атаки и возникают потери в виде срывов (турбина была спроектирована на скорость ветра 12 м/с). На рис. 3 изображены линии тока вокруг ветроколеса при скорости ветра 12 м/с.

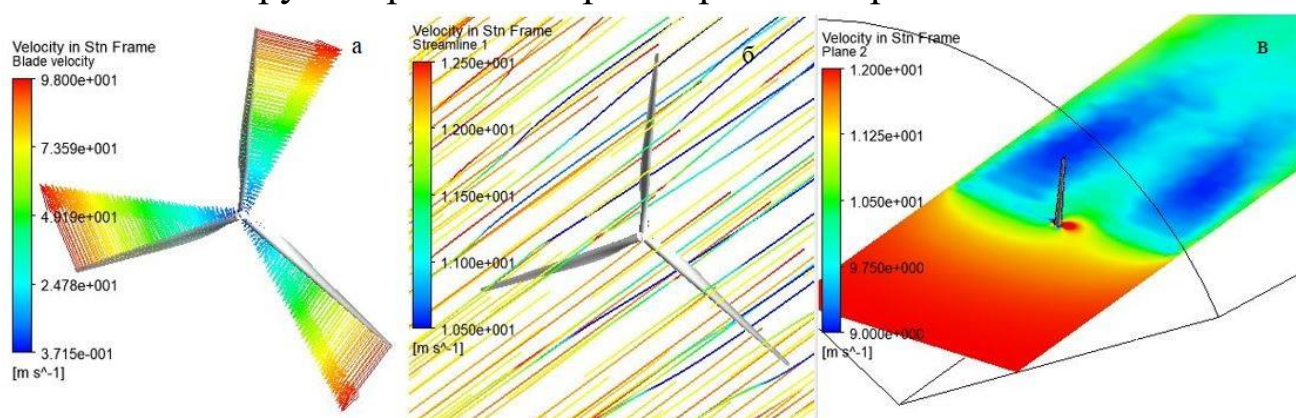


Рис. 3. Линии тока вокруг ветроколеса при скорости ветра 12 м/с:
а) скорость вращения лопастей; б) линии тока вокруг ветроколеса; в) эпюра скоростей по длине канала

Список использованных источников

1. Wind Turbine Blade Design / Calvin Phelps, John Singleton; advisors: Rajesh Bhaskaran, Alan T. Zehnder. Cornell University, Sibley, School of Engineering. URL: <https://ru.scribd.com/document/225807692/Blade-Design-Calvin-John> (дата обращения: 20.11.2018)
2. CFD-RANS Study of Horizontal Axis Wind Turbines / Carlo Enrico Carcangiu; supervisors: Prof. Natalino Mandas, Dr. Francesco Cambuli. Italy, Cagliari, January 2008. 117 p. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/37445170/cfd-rans-study-of-horizontal-axis-wind-turbines-unica-eprints-> (дата обращения: 20.11.2018)
3. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветрогенераторы : учебник / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т»; Севастополь : Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. 400 с.